

# 高速视频数据光纤传输系统的物理层实现

李 增<sup>1,2</sup>, 高世杰<sup>1</sup>, 吴志勇<sup>1</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 在实际的工程应用中要将不同性质的数字视频信号分时复用, 通过单根光纤将各种信号从光电跟踪设备旋转的机上探测机构传输到机下数据处理单元, 而数据的并发性和数据位宽的不同会造成数据传输不连续、带宽资源浪费等问题。针对上述问题, 提出恢复视频信息中行场信号的方案, 给出系统物理层协议的实现, 结合物理层编解码芯片的特点, 采用恢复系统中时钟信号以及 8 B/10 B 编解码方法, 使系统传输速率提高到 2.0 Gb/s, 误码率小于  $10^{-12}$ 。实验结果证明, 该方法可以有效解决传输总线不匹配问题, 使所有数据并行传输。

**关键词:** 视频数据; 物理层; 光纤

## Physical Layer Implementation of High-speed Video Data Fiber-optic Transmission System

LI Zeng<sup>1,2</sup>, GAO Shi-jie<sup>1</sup>, WU Zhi-yong<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**【Abstract】** In view of the disadvantages that the coming parallel data and no-matching data width induce incontinuous transmission and transmission channel waste when the different property data are transmitted from the top inspector at high-speed opto-electronic theodolite by one single fiber with TDM to the process parts at bottom in practice, this paper puts forward a method of recovering line and field signals of video data, including physical layer protocol implementation of this system. Based on the characteristic of the encode & decode chips, it uses the way of recovery time signal and 8 B/10 B encode& decode method to make the data rate reach 2.0 Gb/s, and make BER less than  $10^{-12}$ . Experimental result shows that it can solve no-matching data width problem, and realize parallel transmission for all data.

**【Key words】** video data; physical layer; fiber-optic

### 1 概述

由于数字化的光电跟踪设备在实际的应用过程中要对飞行目标进行实时监控以获得飞行目标的各种参数, 因此会产生海量高速视频信息以及多路分系统控制信息。受旋转机构的限制, 传统的导电环已经不能满足实际工程的需要。而光纤具有高带宽、抗干扰能力强的优点, 因此, 将光纤通信技术应用到设备中能够解决这些信息传输的瓶颈问题。可是系统中使用的传输电路并行总线位宽不匹配, 无法实时有效地对视频数据进行传输, 浪费了很多光纤带宽资源。

本文通过对数字视频信息传输方式的进一步研究, 采取行场恢复技术, 很好地解决了这个问题。物理层的 8 B/10 B 编码、准确的时钟恢复保证了光纤通信系统实时、无误地传输视频信息和各个分系统控制信息<sup>[1]</sup>。

### 2 光纤传输系统的总体框架

本文设计的光纤传输系统由置于机上的发送模块和置于机下的接收模块组成, 发送模块负责将各个子系统的控制信息、模拟视频以及数字视频进行打包发送、时钟提取、分离视频数据中的行场信号、物理层编码、高速电光转化, 经由多模光纤传输到接收模块, 然后在接收端完成光电转换、物理层解码、视频数据行场信号恢复、时钟恢复、电平转换等功能, 恢复出各路原始数据, 由此形成一种典型的光纤通信应用模型<sup>[2]</sup>, 其总体框架如图 1 所示, 其中, 宽箭头表示总线; 细箭头表示数据。

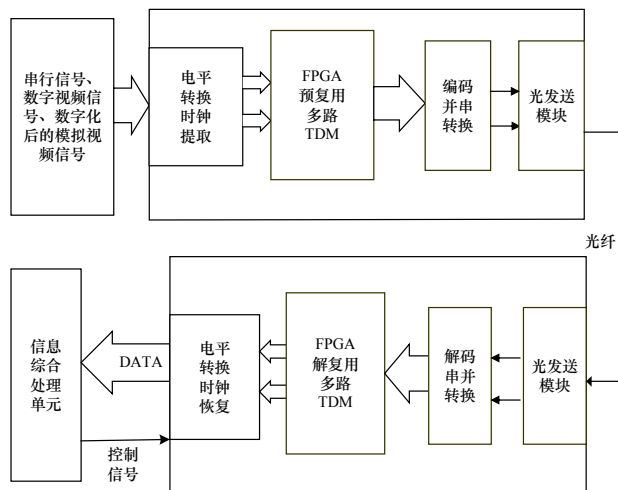


图1 系统总体框架

本系统采用的光收发模块是 SFP 封装的 FinisarFTRJ-8519, 支持高达 2.125 Gb/s 的全双工通信, 工作波长 850 nm, 匹配 50/125  $\mu\text{m}$  MMF, 能够实时、准确地进行光电、电光转换, 其连接电路如图 2 所示。

**作者简介:** 李 增(1982—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 光纤通信工程应用; 高世杰, 硕士; 吴志勇, 研究员

**收稿日期:** 2008-10-15 **E-mail:** lizengluck@sohu.com

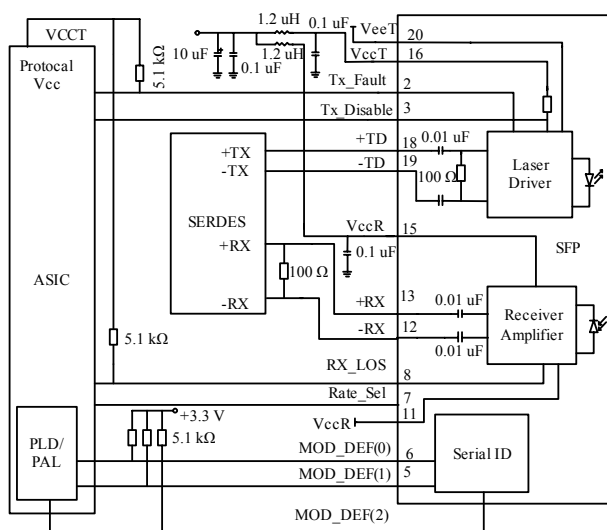


图 2 SFP 光模块电路

### 3 时钟提取电路

来自各个分系统的信号较多，如何准确地提取时钟信号成为系统中数据传输的关键。而且信号的电平标准不统一，主要包括 RS-422, RS-485, RS-232, LVDS 等，所以，在本系统中还要考虑电平转换。以高速数字相机为例：本系统用到的高速相机输出信号均为 LVDS 电平标准，采用的 DS90CR286 解码芯片除了能够将 LVDS 格式的时钟信号转化为 TTL 信号，还能够将 4 路 LVDS 格式的编码数据解码为 28 路 LVTTTL 信号。LVTTTL 信号可直接与 FPGA 匹配，在数据接收端采用 DS90CR285 接收 LVTTTL 信号并且进行编码，恢复出时钟信号和原始数字信号。

### 4 总线匹配 FPGA 设计

根据 camel link 协议，经过解码后的高速相机 28 路 LVTTTL 格式的数字信号中只有 16 位有效数据位、1 位 LVAL(行有效信息)、1 位 FVAL(场有效信息)、1 位 DVAL(数据有效信息)，其余均为无效信息，而且 DVAL=LVAL&FVAL。后面用 TLK2501 作为编、解码和并转串芯片，它只能把 16 路 LVTTTL 数据信号并串转换为一组差分的 CML (Current-Module Logic) 电平信号输出。为了能有效提高传输带宽，在发送端利用 FPGA 内部倍频后的 100 MHz 时钟信号对 16 路有效的数据打包发送，并且实时判断行、场有效信号，当行无效时，不发送有效数据，发送空闲字符，一行数据传送结束；场无效时也不发送数据，而是发送 Comma 字符，一场信息传输完毕。接收端根据接收到的无效数据时间的长短和接收到数据的类型判断行、场信息的起始，从而恢复出原始的行、场信息。

本系统采用 EP1C12Q240C8 完成对视频信号的分离与复原，用 FPGA 内部 2 个异步 FIFO 的乒乓操作完成异步时钟域的数据转换<sup>[3]</sup>。同时完成对行、场信息和有效数据位的有效组合，部分 FPGA 复用、解复用 verilog 代码如下：

```
always @(posedge clk_in or negedge rst)
begin
if(!rst)
begin
buf_data<=0; //buf_data 是 FIFO 前端寄存器
end
else
```

```
begin
buf_data[14:0]<=data[14:0];
buf_data[15]<=data[27]; //16 位数据
buf_data[16]<=data[24]; //行信息
buf_data[17]<=data[25]; //场信息
end
//发送端数据处理
always @(posedge rx_clk or negedge rst)
begin
if (!rst)
begin
datab[22:15]<=8'b0000_0000;
datab[23]<=1'b1;
end
else
begin
if((rp==0)&(rl==1)) //rp, rl 为接收端数据有效状态寄存器
begin
datab[14:0]<=datarx[14:0];
datab[27]<=datarx[15];
end
end
always
begin
datab[24]<=rl; //恢复行有效
datab[25]<=rp; //恢复场有效
datab[26]<=(rl & (~rp)); //恢复数据有效
end
//接收端数据处理
```

### 5 物理层协议实现

高速物理层接口芯片 TLK2501 由以下 2 个部分组成：

(1) 物理编码子层(Physical Coding Sublayer, PCS): 提供与外部数字逻辑的接口，主要包括 16 位接收寄存器，8 B/10 B 编解码器、PRBS 码产生、校验器，能够接收并行数字信号进行 8 B/10 B 编码，能将 8 个数据位转换为不连续的 5 个以上“1”或“0”的 10 位比特码，从而达到较好的 DC 平衡。它有 2 种数据类型：数据码组(D Character)，用于数据传输；特定控制码组(K Character)，用于时序传输的控制，总共有 256 种组合。伪随机码流(Pseudo Random Bit Stream, PRBS) 是一种预先设置好的“0”、“1”组合，它能按规定通过芯片内部并串、串并转换，再回到误码率校验器，与原始码流对比，对误码率进行测试<sup>[4]</sup>。

(2) 物理介质附属子层(Physical Media Attachment, PMA): 提供与外部传输介质的模拟接口，包括模拟信号发送、接收器、20 倍时钟倍频器、串行器、解串器、发送接收缓冲器发送时钟产生和接收时钟恢复器。参考时钟通过单片集成的 PLL 电路产生 20 倍频的时钟，在它的作用下，并行数据被转换为串行数据，由 TXP 和 TXN 差分端口输出。为方便测试，通过内部闭环可以将输出差分信号直接给解串器。在时钟/数据恢复电路的作用下，从接收的串行数据流中解出时钟的频率和相位，将它的 20 分频时钟作为恢复时钟。在恢复时钟的作用下，从解串器产生 10 位并行数据用于 8 B/10 B 译码的输入，译码后的数据经过 16 位输出寄存器输出。

系统中 TLK2501 的同步状态机主要对同步状态进行检

测, 发送端的反馈能够保证在数据无效时迫使发送端发送 IDLE 字符, 使状态机回到正常的同步状态。系统工作的整体流程如图 3 所示。

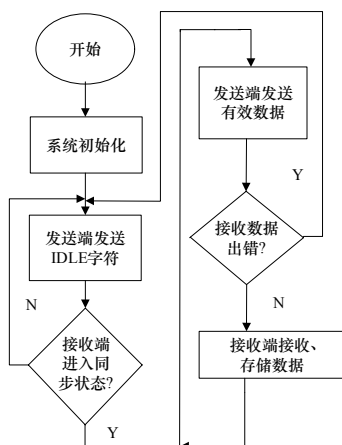


图 3 系统工作流程

## 6 实验结果及结论

### 6.1 误码率测试

在本系统中, 编解码芯片和光模块都可以全双工通信, 由此可以对光纤传输链路误码率进行测试。测试系统如图 4 所示<sup>[5]</sup>。

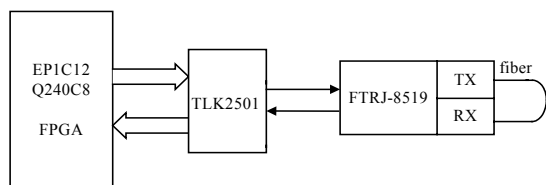


图 4 误码率测试系统

FPGA 以 40 MHz 的速率随机发送有效的数据, 经过光纤传输链路后回到原点, FPGA 接收到数据后与原始数据比较, 从而测得误码率。在 17 h 内, 发送  $2.448 \times 10^{12}$  个数据, 没有发现错误数据, 因此, 系统的误码率小于  $10^{-12}$ 。

### 6.2 光纤链路传输延迟分析

图 5 为发送端和接收端分别测得复用前和解复用后的相同数据位的波形, 其中, 上面的为发送端复用前的数据波形; 下面的为经过光纤、接收端解复用后的数据波形。

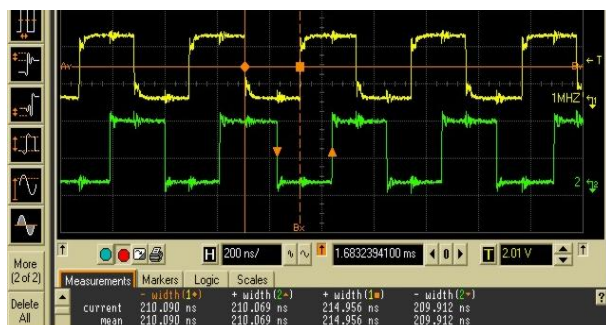


图 5 复用前和解复用数据波形比较

从实验数据可以得到, 脉冲展宽大约 5 ns, 主要包括光纤传输的脉冲展宽和异步时钟系统匹配而造成的时间偏差。根据光纤传输特性<sup>[6]</sup>, 计算由于多模光纤的色散而引起的脉冲展宽:

$$\Delta\tau = \frac{L}{2n_1c} \theta_c^2 = \frac{L}{2n_1c} (NA)^2$$

其中,  $NA$  为数值孔径;  $L$  是光纤长度;  $n_1$  是光纤折射率;  $c$  是光速。令  $L=6$  m,  $n_1=1.25$ ,  $NA=0.275$ , 计算得到脉冲展宽  $\Delta\tau=0.6$ , 可见由于色散而引起的脉冲展宽很小。

5 ns 的脉冲展宽主要是由于异步系统的时钟匹配造成的偏差而引起的, 它是在发送端为了与本地时钟同步, 用 FPGA 内部倍频后再用 100 MHz 的时钟对原始数据同步采样, 在接收端本地 100 MHz 的数据频率与 50 MHz 的数据输出频率因本地 RAM 在行、场信号控制下进行读写造成输出信号的展宽。由于系统中 GTX\_CLK 采用经过 FPGA 倍频后的 100 MHz 时钟, 因此最大传输速率为  $100 \times 16 \times 10 \div 8 = 2.0$  Gb/s。另外, 系统传输延时为 100 ns, 主要是受物理层编解码芯片自身潜伏期的影响。

为了进一步对图像传输质量进行评估, 在相同条件下做了 2 次图像采集, 第 1 次直接用采集卡采集图像并储存。第 2 次经过光纤传输系统传输后再采集, 并储存, 对比结果如图 6 所示。光线背景的不同导致第 2 次图像亮度大于第 1 次, 但是经光纤传输后的图像清晰且没有噪声点, 满足光电跟踪设备图像事后判读处理的需求。

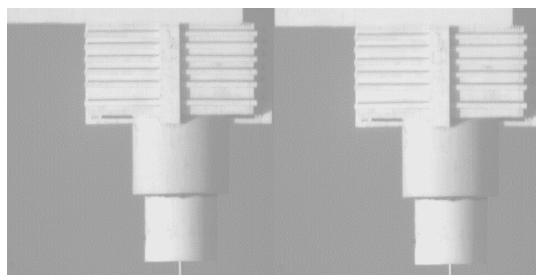


图 6 相同场景图像光纤传输前后对比

## 7 结束语

将光纤通信应用到地基测量设备中不仅能有效解决其数据传输的瓶颈问题, 而且在传输前后采用恢复视频信号的方法可以充分利用光纤的带宽使数据实时传输, 满足实际工程的要求, 同时提高系统整体的抗电磁干扰能力, 因此, 具有重要的工程意义。

## 参考文献

- [1] 刘爱雄, 高有行. 光纤通信系统中的时钟信号恢复[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2003, 2(1): 18-21.
- [2] Fukaishi M. A 2.125 Gb/s BiCMOS Fiber Channel Transmitter for Serial Data Communications[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits, 1999, 34(9): 1325-1330.
- [3] 段吉海, 黄伟智. 基于 CPLD/FPGA 的数字通信系统建模与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 乔保军, 石 峰. 基于 FPGA 的空域精细可扩展编码预处理器[J]. 计算机工程, 2006, 32(24): 237-239.
- [5] 王新刚. 光纤在广播电视中的应用[J]. 科技情报开发与经济 2006, 16(14): 291-292.
- [6] Djafar K, Lowell M, Scheiner L. Fiber-optic Communication Technology[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

编辑 张 帆